

GNSS 位置情報と QR コードを用いたリアルタイム CIM による EPS 軽量盛土の施工管理

日本国土開発(株) 正会員 ○佐野健彦
 日本国土開発(株) 正会員 中村裕希
 日本国土開発(株) 正会員 羽賀研太郎
 (株)科学情報システムズ 小笠原一基
 (株)科学情報システムズ 武田祐二

1. はじめに

国土交通省が推進する i-Construction は、「ICT の全面的な活用 (ICT 土工)」, 「全体最適の導入 (コンクリート工の規格の標準化等)」, 「施工時期の平準化」の 3 項目をトップランナー施策¹⁾として設定している. このうち, 「ICT の全面的な活用 (ICT 土工)」は, UAV 写真測量や 3D レーザースキャナ測量による 3D 起工測量, 3D 設計データを入力した ICT 建設機械の土工事への適用等, 既に多くの施工実績や精度検証の報告^{例えば 2)~4)}がされ, 一気通貫で実施することによる生産性向上の良好な兆しが見え始めている.

一方, 「全体最適の導入」は, 2012 年に試行的に導入された CIM (Construction Information Modeling) を最大限活用することによるフロントローディングによって実現可能である. 今後は, 部材のプレキャスト化等による省力化も提唱されており, 施工管理の省力化も推進する必要がある. 「ICT の全面的な活用 (ICT 土工)」で実施されている, 施工状況をリアルタイムに反映するといった CIM 活用の高度化が望まれる. CIM 活用の高度化としては, EPS 軽量盛土を対象とした施工管理の報告⁵⁾がされているが, 従来の施工管理手法を用いて, 維持管理に最適な様に CIM モデル上に記録するといったデータベースの構築までにとどまっている.

本稿では, 施工情報と CIM モデルの高度連携を考慮し, ICT を活用した 3D 計測技術による起工測量を実施し, 全体最適となる様, 計測結果を反映した CIM モデルによる施工計画を立案するとともに, QR コードによる材料管理と GNSS を用いた位置情報データに対して CIM モデル作成の自動化プログラムを用いて CIM モデルとリアルタイムに連携して施工を行った事例として, 国土交通省東北地方整備局発注の EPS 軽量盛土による高速道路の 4 車線化拡幅工事について報告する.

2. ICT を活用した EPS 施工システムの概要

フロントローディングを実現するためには, 3D データとして現況地形を正確に把握した上で, EPS ブロックが最適な配置となる様に CIM を用いてシミュレーションする必要がある. 本検討にて実施した起工測量から出来形管理までの一貫した情報化施工の概要について説明する.

(1) EPS 軽量盛土工の概要

EPS 工法は, 軽量の発泡スチロールブロックを盛土材料とするものであり, 耐圧縮性, 耐水性, 自立性に優れるといった特徴を有している. EPS ブロックは, 軽量のため人力による運搬および設置が可能である. そのため, 施工速度は, コンクリート 2 次製品を用いた構造物と比較して施工スピードは圧倒的に速い. EPS ブロックの寸法および形状は, 短辺 1m×長辺 2m×高さ 0.5m=1m³の直方体である. 本稿の対象とした EPS 軽量盛土工の数量は, およそ 3,000m³である.

(2) 使用した 3D 計測技術とその特徴

3D 点群データの取得には, 大別して UAV 写真測量を用いる方法と 3D レーザースキャナを用いる方法がある. UAV 写真測量は, UAV に搭載したデジタルカメラを用いて撮影した写真に対して, ステレオマッチング技術を利用した SfM (Structure from Motion) ソフトを用いて 3D データを取得可能であるが, 現場に隣接する高速道路上空を飛行させることは安全面に問題がある. そのため, 今回は, レーザースキャナを用いる方法を選択した. また, 供用中の高速道路盛土自体の地形データも取得する必要があり, 固定式のレーザースキャナではなく, 高速道路を走行しながらデータの取得が可能な MMS (Mobile Mapping System) を使用することとした. 図-1 は, 計測に使用したアジア航測株式会社所有の MMS である GeoMasterNEO4 号機⁶⁾を示している.

キーワード i-Construction, 全体最適化, QR コード, EPS 工法, 見える化

連絡先 〒107-8466 東京都港区赤坂 4-9-9 日本国土開発(株)土木事業本部 TEL.03-5410-5750 E-mail: takehiko.sano@n-kokudo.co.jp



図-1 起工測量に使用した MMS(Mobile Mapping System)の装備概要

使用した機材は、レーザーキャナ、オドメータ、GNSS および IMU とデジタルカメラを組み合わせることで自動車に搭載し、走行しながら周囲の 3D 点群データ計測および全周囲写真計測が高密度かつ高精度にできる装置である。MMS に搭載した 3D レーザーキャナ装置の諸元を表-1 に示す。MMS に搭載した 360°全方位ビジョンカメラの諸元は、表-2 に示す通りである。図-3(a)は、MMS に搭載した 3D レーザーキャナ装置による点群データと、360°全方位カメラにて撮影した画像データを対比して示したものである。この様に、ソフトウェア上で現地の状況を再現可能である。図-3(b)および図-3(c)は、起工測量時の現場状況の比較を示している。図-3(b)の TIN サーフェスマodel を用いて、最適な EPS ブロックの配置を検討した。

表-1 MMS 搭載の 3D レーザーキャナ装置諸元

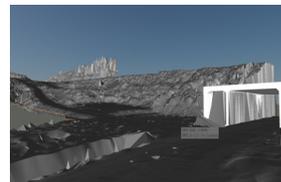
名称	方式	スキャンレート
Z+FProfiler9012	位相差	200Hz (1,000,000 点/秒)
SICK LMS511	時間	100Hz (27,100 点/秒)

表-2 MMS 搭載 360°全方位ビジョンカメラの諸元

名称	Ladybug5
解像度	2048×2448 ≒ 500 万画素
センサー	Sony ICX655 CCD



(a)点群データと 360°全方位カメラの比較



(b)TIN サーフェスマodel



(c)現地写真

図-3 起工測量時の現場状況

(3)QR コードを用いた施工情報の管理

EPS ブロックは、コンクリート 2 次製品に比べて、軽量かつ安価であると同時に、今回は 3,000m³に相当する個数のブロックを管理する必要があり、高価なセンサー類を大量に使用することはコスト面から問題があり適当ではないと判断した。使用するセンサーに必要な条件は、屋外で雨風による影響を受けることなく利用でき、安価で安定的に大量供給が可能ということであり、候補としては、IC タグと QR コードが挙げられた。IC タグを用いれば、非接触で EPS の設置状況をモニタリングでき施工状況によっては非常に都合が良いが、高価であるため、本検討では容易に大量に調達可能な、光学的に情報を読み取る QR コードを選定した。QR コードは、EPS ブロック本体に取り付けるため、「もの」としての情報は把握が可能だが、位置情報は把握することができない。そのため、位置情報を把握可能な機器を開発した。図-4 は、GNSS センサー付きバーコードリーダーと本工事で使用したすべての EPS ブロックに貼附した QR コードの例である。QR コードは工場



図-4 GNSS センサー付きバーコードリーダーと EPS ブロックに貼附した QR コード

表-3 EPS ブロックの供給元と QR コードの番号

分類(工場名)	QR コードの番号
A	10001~11131
B	20001~20611
C	30001~30700
D	40001~40025
E	50001~50480
G(現場加工の端材)	70001~71575



(a)EPS ブロック搬入 (b)クレーン吊上げ・仮置き (c)EPS ブロック設置 (d)QR コード読み取り状況

図-5 EPS ブロックによる軽量盛土の施工状況および QR コードを用いた情報化施工

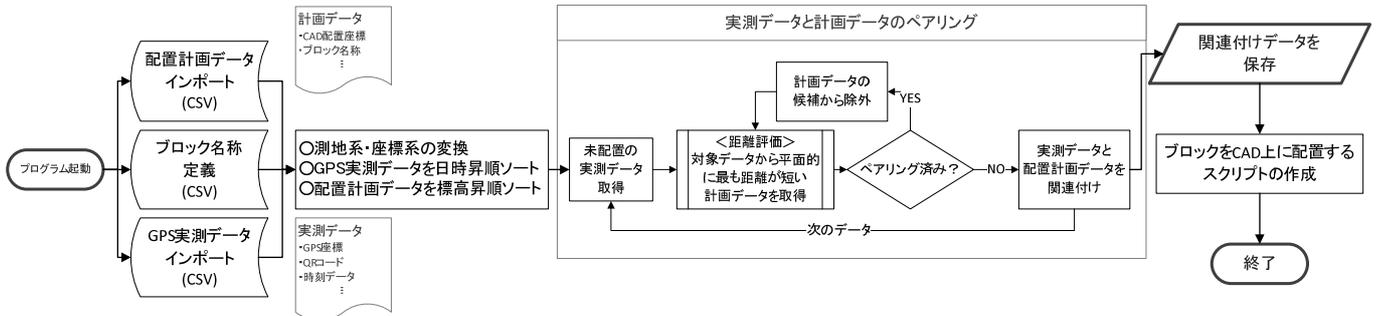


図-6 EPS ブロック配置計画および施工管理プログラムフロー

出荷時にすべての EPS ブロックにあらかじめ貼り付け、表-3 に示す EPS ブロックの供給元によって固有の番号を付与した。図-5 は、EPS ブロックによる軽量盛土の施工状況および QR コードを用いた情報化施工を示している。

3. CIM モデル作成プログラムの概要

本検討にあたり作成した EPS 配置プログラムは、QR コードの読取と同時に進行 GNSS 測量による座標データを自動で CAD 図面上に配置することができるプログラムである。本プログラムの実行には、事前データとして AutoCAD 図面での EPS のモデル化、作成したモデルのブロック登録に加え、EPS を配置する座標と配置すべきブロックの名称やブロックを配置する角度等（以下、配置計画データと称する）のリストを必要とする。ここで「ブロック」とは、AutoCAD において図形をグループ化する機能である。当該機能を使用することで、指定した図形グループに特定の名称を付け、CAD 図面上に同一の図形グループを配置できる。プログラムのフローを図-6 に示す。配置計画データのリストとともに、EPS に取付けた QR コードと QR コードスキャン時に計測した EPS の GNSS 座標、GNSS を取得した時刻等のデータ（以下、実測データと称する）をリスト化したものをインポートすると、配置計画データのリストと実測データのリストの各データを自動で関連付け、関連付けしたデータから AutoCAD でブロックを配置できるスクリプトを作成し、テキストファイ

ルが出力される。出力されたテキストを AutoCAD 上のコマンドラインに貼り付けることで実測データとして読込んだ EPS を表すブロックと当該 EPS の QR コードを CAD 図面上に配置できる。実測データや配置計画データは何度も追加でインポートができるので、日々の計測データを整理して実測データのリストを作り、プログラムを実行することで、短時間で施工状況を 3DCAD 図面に反映できる。本プログラムにおいて、GNSS データは「WGS84」測地系の、配置計画データを作成した CAD 図面は「JGD2000-10 系」平面直角座標系の座標値である。これらの座標系の変換に関しては、国土地理院による計算式集⁷⁾を参考に、国土地理院「測量計算サイト」⁸⁾に準拠した座標変換プログラムを作成して EPS 配置プログラムに組み込んだ。

4. CIM データと施工情報の関連付け

自動配置した EPS は、施工情報等を関連付けることで CIM モデルとして活用できる。本プログラムでは CIM モデルへの対応として、Autodesk Navisworks のアドインプログラムである Navis+で使用可能な属性情報の出力機能を追加している。自動配置したブロックのハンドル名と QR コード等のブロック固有の情報をリンクさせたデータと施工情報を関連付けすることで、実測・計画データを含めた対応する全データから任意の情報を抽出・選択し、属性情報のリストとして csv ファイルを自動で作成できる。図-7 は、QR コードから作成した場合のフローである。図-8 は、これら自動配

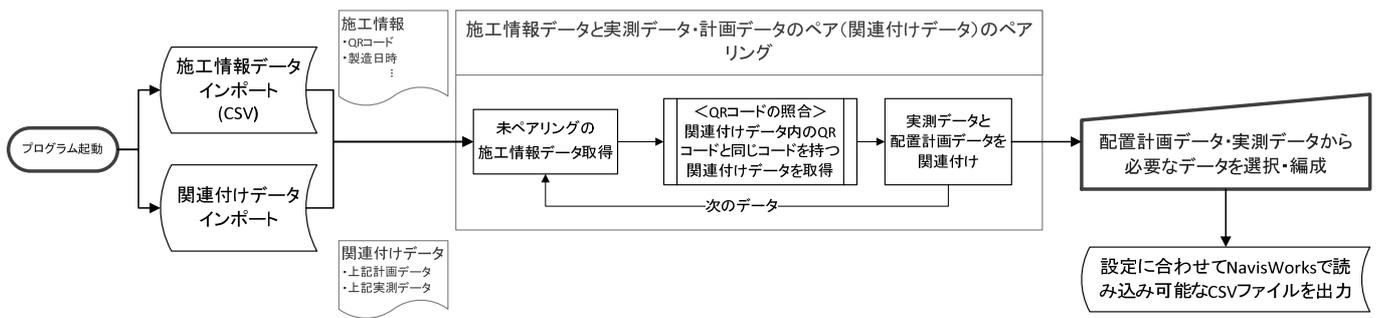


図-7 CIM データと施工情報の関連付けフロー

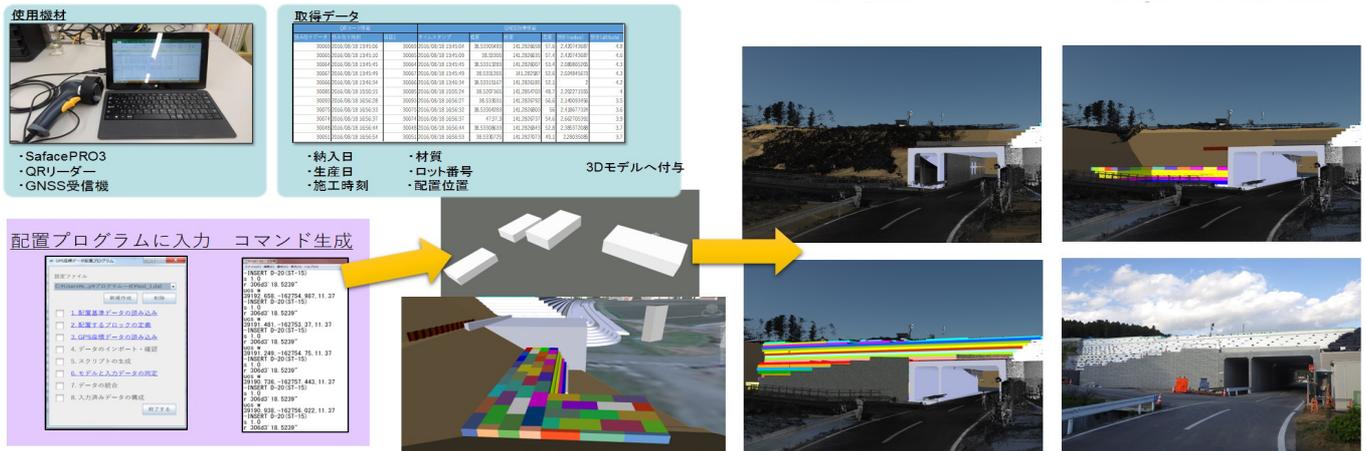


図-8 CIM データと施工情報の関連付けによる CIM モデルの生成

置によって作成した CIM モデルの概要を示している。

5. まとめ

EPS 軽量盛土工事の施工において、ICT 土工の考え方に加えて、全体最適の考え方を導入した施工管理を実施した。今回の検討範囲内で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 3D 計測結果を用いた詳細な現況地形に合わせた EPS ブロックの配置計画を行うことで、QR コードと GNSS 情報をほぼリアルタイムに CIM モデルへ反映させることができ、効率化が図られた。
- 2) 今回開発した CIM モデル作成の自動プログラムを用いることで、材料情報や工事情報といった属性情報を CIM モデルに自動的に反映させ、データ連携の高度化が可能であることが分かった。

今後は、「全体最適の導入 (コンクリート工の規格の標準化等)」で本来のターゲットとしているコンクリート構造物の部分最適化および全体最適化を図るため、本検討で用いた手法を広く活用するとともに、更なる効率化を図るために、自動化プログラムと管理手法の改善を継続する予定である。特に、今回の事例では検討していない品質管理手法の自動化と CIM モデルとのデータ連携について検討する予定である。

参考文献

- 1) i-Construction～建設現場の生産性革命～、i-Construction 委員会、2016 年 4 月
- 2) ICT 土工事例集 (H28.11.7 更新) 国土交通省、<http://www.mlit.go.jp/common/001151289.pdf> (2017 年 1 月 18 日時点)
- 3) 佐野健彦、大西隆夫：i-Construction を全面活用した造成工事の実績および精度検証、平成 28 年度近畿地方整備局研究発表会論文集、国土交通省、新技術・新工法部門：No.12、2016
- 4) 佐野健彦、佐藤裕、鈴木一帆、中村裕希：ICT の全面的な活用による造成工事の実績および精度の考察、土木建設技術発表会 2016、土木学会、2016
- 5) 羽賀研太郎、佐野健彦、大上敏弘：ICT を活用した EPS ブロック施工の出来形管理、土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集、土木学会、2016
- 6) 平井智、松本直樹、佐藤秀人：路面性状機能付き MMS の事例紹介、日本写真測量学会平成 28 年度秋季学術講演会発表論文集、日本写真測量学会、pp.15-16、2016
- 7) 国土地理院：作業規定の準則 (付録 6 計算式集)、<http://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/>
- 8) 国土地理院：測量計算サイト、経度緯度と地心直交座標系の相互変換、平面直角座標系への換算、<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/main.html>